

12

手

电信
工程设计

册

短波通信

DIANXIN GONGCHENG SHEJI SHOUCE

电信工程设计手册

短波通信

邮电部北京设计院
上海邮电设计院^编

人民邮电出版社

登记证号 (京) 143号

内 容 提 要

本书为电信工程设计手册的一个分册, 介绍短波通信工程设计。

书中除介绍较成熟的设计技术外, 还介绍了国内外已在应用的新技术和防止短波传播衰落的方法。

本书内容包括: 电波传播及电离层、收发信电台、中央控制室、遥控线路、台址选择、电台供电方式等各主要部分的设计。并有整条电路的选频、噪声、场强的计算实例。

本书供无线通信工程设计人员、管理人员、维护人员参考, 也可供大专院校师生参考。

责任编辑: 俞天林 田秀兰

电信工程设计手册

短波通信

邮电部北京设计院 编
上海邮电设计院

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 787 × 1092 1/16 1991年12月 第 一 版

印张: 45 4/16 页数: 362 1991年12月北京第1次印刷

字数: 1128 千字 插页 4 印数: 1 — 4000 册

ISBN 7-115-04511-9/TN · 461

定价: 39.60 元

73.4073
233

《电信工程设计手册》

编 审 委 员 会

主任委员：

宋直元

副主任委员：

张端权 杨兆麒 鲁岚峰

委员（按姓氏笔划为序）：

于保民 王瑞陞 业治铸 刘 沈 刘宗汉

伍读华 许 敏 杨永中 季正益 贾宝顺

俞天麟 徐寿曾 裘祖聿



9410199

前 言

随着我国国民经济迅速增长，以及对外执行开放政策，国民经济各部门和人民群众对通信的需求急剧增长，加速通信建设，迅速提高通信能力和通信服务水平，改变通信落后面貌，已成为我国当前的迫切任务。

设计工作是通信建设的关键环节。设计对通信规划，保证工期，保证质量，节约投资，采用新技术，取得最好的经济效益等起着关键性的作用。为了进一步提高设计效率，提高设计质量，提高勘测设计人员的水平，促进技术进步，提高基本建设投资效果，我司已商请邮电部设计院等单位组织有关专家编写《电信工程设计手册》，经我司组织审定后，将按专业分册交人民邮电出版社编辑出版发行。

这套手册是结合实际工作需要和建国以来邮电设计经验总结编写的，力求实用。主要内容有比较全面的邮电通信勘察设计技术资料、经验数据及常用图表，以供邮电通信建设工程技术人员引用。

《电信工程设计手册》在各单位、各方面专家共同辛勤努力下，克服了不少编写困难，终于开始正式出版了。这无疑是对我国通信建设的一个贡献。由于是第一次组织这样大型的、整套的手册，而且是分册陆续出版，难免有缺点和不足之处，希望各地读者在使用过程中及时把意见反馈给我司，以便今后修订提高，使这套手册在我国通信建设中发挥更大的作用。

邮电部基本建设司

1991年2月

编 者 的 话

短波无线电通信已有六十余年历史，五、六十年代曾是它的鼎盛时期。短波信道是变参信道，频段拥挤，大气和人为噪声大，干扰严重，因此通信可靠性差。随着地面微波、同轴电缆、通信卫星、光纤电缆等较好通信手段的出现，许多短波通信链路被逐渐取代。

然而，七十年代末期以来，短波通信技术有了很大进步，短波通信设备业经更新换代，短波通信链路的可靠性大大提高。结合到设备简单、经济、使用方便以及通信灵活、机动、抗毁性强等固有优点，目前短波通信在许多领域仍然发挥着重要的作用。

邮电部北京设计院长期以来从事短波无线电通信工程设计工作，积累了一些设计经验和资料。考虑到有关短波通信工程设计的实用书籍目前还不多见，我们在总结经验的基础上组织编写了本手册，提供从事短波通信工作的工程技术人员参考。

本手册分十一章，分别介绍了天波和地波场强计算、大气无线电噪声估算、电台台址选择、通信设备安装、通信电源、遥控线路等工程设计问题。为便于设计使用，手册中给出了大量必要的数据和图表；各章末列出了相关的参考文献，供读者查阅。

本手册由邮电部北京设计院李昌猷、梅国修、张玉俊、田贵珍等同志与上海邮电设计院姚景申、薛承启同志合作编写，由李昌猷同志总审。在编写过程中，人民邮电出版社约请邮电部北京市电信管理局前总工程师范铁生同志进行了审阅，提出了宝贵的修改意见。

短波无线电通信工程设计涉及面很广，而编写者经验不足、水平有限，书中论述难免有偏颇谬误之处，敬请读者批评指正。

邮电部北京设计院

上海邮电设计院

1990年

目 录

第一章 短波通信系统概述

1.1 短波通信的特点	1
1.1.1 短波通信的主要优缺点	1
1.1.2 短波通信的现状	2
1.2 短波通信的业务种类和频段划分	5
1.2.1 短波通信业务种类	5
1.2.2 短波频段的划分	7
1.3 无线电发射的标识和其它技术要求	12
1.3.1 无线电发射的标识方法	12
1.3.2 各类发射的必要带宽	16
1.3.3 频率稳定度	19
1.3.4 杂散辐射	22
1.4 电报和数据传输	23
1.4.1 电报代码	24
1.4.2 传输速率	27
1.4.3 失真	29
1.4.4 差错率	31
1.4.5 调制方式	32
1.5 图象传输	37
1.5.1 重要参数	38
1.5.2 调制方式	38
1.5.3 需要的带宽	39
1.5.4 传输信道	40
1.6 电话传输	40
1.6.1 短波无线电话的特点	40
1.6.2 调制方式	42
1.6.3 几种无线电话发射类型	42
1.6.4 单边带和独立边带的信道安排	44
1.7 短波通信链路和通信网	44
1.7.1 工作方式	44
1.7.2 短波通信链路的电平	45

1.7.3 短波通信网	46
参考文献	49

第二章 天波传播和天波场强计算

2.1 概述	50
2.2 电离层特性	51
2.2.1 大气层结构	51
2.2.2 电离层的形成	53
2.2.3 太阳黑子数	55
2.2.4 电离层各层特性	57
2.2.5 电离层骚扰	59
2.2.6 人为电离层骚扰	62
2.2.7 磁层	62
2.3 天波传播的特点	64
2.3.1 电离层的折射和反射	64
2.3.2 天波传播的路径	66
2.3.3 地球磁场的影响	72
2.3.4 电离层吸收	75
2.3.5 衰落	76
2.3.6 多径延迟	80
2.3.7 多普勒效应	82
2.3.8 长距离短波路由的来波仰角	83
2.3.9 大圆路径偏离	83
2.3.10 环球回波	85
2.4 路径基本几何参数的确定	87
2.4.1 大圆距离和方位角	87
2.4.2 反射区的位置	88
2.4.3 射线仰角	31
2.4.4 确定链路的最佳辐射仰角	92
2.4.5 太阳天顶角	96
2.5 链路使用频率范围的确定	98
2.5.1 概说	98
2.5.2 频率预报	98
2.5.3 最佳工作频率	148
2.5.4 可用频段的确定	151
2.5.5 可用频段预测举例	153
2.6 天波传输损耗和场强的计算方法	157
2.6.1 概说	157
2.6.2 自由空间基本传输损耗	158
2.6.3 电离层吸收损耗	159
2.6.4 地面反射损耗	162

2.6.5 附加系统损耗	163
2.6.6 天波场强	166
2.6.7 天波场强计算举例	167
参考文献	173

第三章 地波传播和地波场强计算

3.1 概述	175
3.2 地面的电气参数	175
3.3 地波在电气特性均匀的地面上的传播	179
3.3.1 地波场强计算方法	179
3.3.2 地波传播曲线	182
3.3.3 地波衰减与极化的关系	193
3.4 地波在起伏不平的地面上的传播	193
3.5 地波在电气特性不均匀的地面上的传播	195
3.5.1 Eckersley场强计算方法	195
3.5.2 Millington场强计算方法	196
3.5.3 近似图解法	199
3.5.4 海岸效应	200
3.6 地波传输的干扰问题	204
3.6.1 多径传输	204
3.6.2 伴生天波	205
3.6.3 其它发射机的干扰	206
3.6.4 无线电噪声干扰	206
3.7 地波链路常用的天线	207
参考文献	210

第四章 无线电噪声和电台干扰

4.1 概述	211
4.1.1 噪声对通信的影响	211
4.1.2 噪声参数	213
4.2 大气无线电噪声	215
4.2.1 大气无线电噪声数据	215
4.2.2 大气无线电噪声资料的应用	228
4.3 宇宙噪声	230
4.4 人为无线电噪声	232
4.5 总噪声的合成	235
4.6 电台干扰	236
参考文献	238

第五章 短波通信链路的系统方案设计

5.1 概述	240
5.1.1 电话的质量参数	240
5.1.2 电报和数传的质量参数	241
5.1.3 传真的质量参数	241
5.1.4 各种通信业务需要的信噪比	241
5.1.5 信号干扰保护比	244
5.2 发射机输出功率	249
5.2.1 发射机输出功率的标定方法	249
5.2.2 峰包功率、平均功率和载波功率之间的关系	250
5.2.3 多路通信的功率分配	252
5.3 天线增益和高频馈线系统损耗	254
5.3.1 天线增益	254
5.3.2 馈线系统损耗	255
5.4 信号处理和调制解调技术	268
5.5 分集接收技术	269
5.5.1 概述	269
5.5.2 分集方式	270
5.5.3 分集信号合成方法	274
5.5.4 分集重数(支路数)	276
5.6 差错控制技术	279
5.6.1 概述	279
5.6.2 ARQ	280
5.6.3 FEC	286
5.6.4 ARQ和FEC的比较	287
5.7 实时选频系统	288
5.7.1 概述	288
5.7.2 克茨实时选频系统	289
5.7.3 线性调频探测系统	292
5.8 综合考虑	294
参考文献	296

第六章 发射台工程设计

6.1 概述	298
6.2 短波发射机	299
6.2.1 单边带发射机	299
6.2.2 双边带发射机	309
6.2.3 发射机的冷却系统	311

6.2.4 发射机的技术性能指标	318
6.2.5 几种激励器和发射机的主要性能	323
6.2.6 发射机的选择原则	323
6.3 发射天线和馈电线	334
6.3.1 短波发射天线的电气参数	334
6.3.2 常用短波发射天线	338
6.3.3 发射天线的选择原则	343
6.3.4 高频馈电线	349
6.3.5 天线场地布置	351
6.4 天线交换系统	355
6.4.1 馈筒开关天线交换系统	356
6.4.2 同轴开关天线交换系统	362
6.4.3 户外用天线交换开关	371
6.4.4 户外天线配线区	373
6.5 低频信号系统和遥控系统	374
6.5.1 低频信号系统	374
6.5.2 远程控制(遥控)系统	379
6.6 发射台供电系统	380
6.7 发射台设备安装设计	383
6.7.1 机线设备系统总图	383
6.7.2 发射机房	383
6.7.3 发射台设备布置和安装	386
6.7.4 发射台的接地装置和防雷措施	393
参考文献	398

第七章 接收台工程设计

7.1 概述	399
7.2 短波单边带接收机	400
7.2.1 单边带接收机的电路构成	400
7.2.2 单边带接收机电路实例	404
7.2.3 单边带接收机技术性能指标	411
7.2.4 短波单边带接收机主要性能表	418
7.3 短波接收天线和馈电线	418
7.3.1 短波接收天线	418
7.3.2 接收天线馈电线	441
7.4 高频通路	443
7.4.1 避雷器、阻抗匹配器和高通滤波器	444
7.4.2 天线共用器	445
7.4.3 天线交换器	451
7.4.4 全交换和分组交换	452

7.4.5 分组交换的实例·····	454
7.5 低频通路和遥控系统·····	455
7.5.1 低频通路·····	455
7.5.2 远程控制(遥控)系统·····	459
7.6 接收台供电系统·····	463
7.7 接收台设备安装设计·····	464
7.7.1 接收台工程系统总图·····	464
7.7.2 接收机房·····	466
7.7.3 机房设备布置与安装·····	469
7.7.4 台内干扰的抑制·····	475
7.7.5 接地装置和防雷措施·····	475
参考文献·····	475

第八章 中央控制室工程

8.1 概述·····	476
8.2 短波单边带无线电话终端机·····	478
8.2.1 音控防鸣式无线电话终端机·····	478
8.2.2 压缩扩展式无线电话终端机·····	481
8.2.3 移复道设备和多路单边带终端机·····	486
8.3 电报和数据终端设备·····	486
8.3.1 电传打字机·····	486
8.3.2 汉字电传打字机·····	490
8.3.3 多路音频电报设备·····	492
8.3.4 数据终端设备·····	494
8.4 传真设备·····	499
8.4.1 相片传真机·····	500
8.4.2 气象传真机·····	501
8.5 监测、控制、互换设备·····	502
8.5.1 线路互换设备·····	502
8.5.2 监测设备·····	504
8.5.3 电台遥控设备·····	505
8.5.4 业务联络设备·····	508
8.6 中央控制室电源系统·····	509
8.7 中央控制室设备安装·····	509
8.7.1 机房和机房建筑要求·····	509
8.7.2 设备布置和安装·····	510
参考文献·····	511

第九章 无线电台的场地要求和台址选择

9.1 天线对场地的要求·····	512
-------------------	-----

9.1.1 地面电气特性对天线的影响	512
9.1.2 菲涅尔区概念	516
9.1.3 场地的面积	519
9.1.4 地形地物影响	520
9.2 场地地质对建筑工程的影响	522
9.2.1 一般土壤	522
9.2.2 特殊性土	523
9.2.3 特殊地质	524
9.3 避开人为无线电噪声源,降低本地电台干扰	525
9.3.1 大中城市的无线电收发分区规划	525
9.3.2 接收台至发射台的距离和发射台至居民集中区的距离	526
9.3.3 接收台至人为无线电噪声源的距离	527
9.4 选择台址应考虑的有关因素	529
9.4.1 台址与大型工矿企业和城市工程设施之间的关系	529
9.4.2 遥控线路	530
9.4.3 电网供电和供电线路	530
9.4.4 水源和供水	531
9.4.5 交通和后勤供应	531
9.5 选择台址的步骤	532
9.5.1 准备工作	532
9.5.2 现场查勘	533
9.5.3 编写台址查勘报告	534
参考文献	535

第十章 遥控线路工程

10.1 概述	536
10.1.1 遥控线路的作用	536
10.1.2 遥控线路的种类和选择	536
10.1.3 信号的传输	537
10.1.4 遥控线路电气指标	537
10.2 传输设计	539
10.2.1 传输设计方法和步骤	539
10.2.2 导线线径选择	539
10.2.3 加感线圈、电缆平衡、均衡器和线路变压器	543
10.3 遥控电缆(包括传音电缆)	560
10.3.1 星绞低频通信电缆	561
10.3.2 综合通信电缆	563
10.3.3 市话铅包电缆	570
10.3.4 市话全塑电缆	573

10.4	架空电缆的架设	581
10.4.1	杆路路由和位置	581
10.4.2	杆路建筑	583
10.4.3	架空线路负荷区划分	584
10.4.4	电缆的吊挂	585
10.5	直埋电缆的埋设	586
10.5.1	电缆路由和断面位置的确定	586
10.5.2	直埋电缆的埋设深度	587
10.5.3	直埋电缆与其它建筑物的距离	587
10.5.4	直埋电缆的保护措施	588
10.5.5	直埋电缆的标志设置	589
10.5.6	直埋电缆的盘留长度	590
10.5.7	电缆的防蚀和防机械损伤	590
10.5.8	电缆的防雷	591
10.6	管道电缆的敷设	592
10.6.1	管孔的选用	592
10.6.2	管道电缆的敷设	592
10.6.3	管道电缆的留长	593
10.7	电力线干扰影响	593
10.7.1	概述	593
10.7.2	感应电压危险影响容许值	594
10.7.3	感应干扰容许值	595
10.8	终端设备和充气设备	596
10.8.1	PXB-1 保安配线箱	596
10.8.2	CZK-II 型电缆自动充气设备	597
10.8.3	电缆气压告警系统	597

第十一章 通信电源工程

11.1	总的要求	600
11.1.1	外电源的分类	600
11.1.2	柴油发电机组台数的配置	601
11.1.3	配电电压	602
11.2	无线电台的配电系统	602
11.2.1	基本要求	602
11.2.2	变电站的分类	602
11.2.3	变电站的主接线	603
11.2.4	功率因数的补偿	605
11.2.5	发射台供电系统图	606
11.3	电气设备	607

11.3.1	电力变压器	607
11.3.2	感应式调压器	616
11.3.3	高压开关柜	621
11.3.4	操作机构	635
11.3.5	低压配电屏	638
11.4	备用电源自投装置	651
11.4.1	高压侧备用电源自投装置	651
11.4.2	低压侧备用电源自投装置	652
11.5	高压开关柜一次接线及二次接线	658
11.5.1	油断路器的控制、信号回路	658
11.5.2	中央信号装置	659
11.5.3	高压开关柜一次接线	660
11.5.4	进线柜二次接线	663
11.5.5	联络柜二次接线	663
11.5.6	电压互感器柜二次接线	665
11.5.7	计量柜二次接线	665
11.6	变电站的安装	665
11.6.1	高压开关柜室	667
11.6.2	低压配电屏室	667
11.6.3	变压器室	670
11.7	柴油发电机组	678
11.7.1	概述	678
11.7.2	柴油发电机的励磁方式	678
11.7.3	柴油机的冷却	682
11.8	接地	685
11.8.1	人体触电的危险	685
11.8.2	保护接地	685
11.8.3	工作接地	686
11.8.4	接地保护和接零保护	686
11.8.5	重复接地	686
11.8.6	三相五线制	687
11.8.7	接地装置和接地电阻	688
11.9	电线、电缆的选择	688
11.9.1	导体材料的选择	688
11.9.2	电线、电缆截面的选择	689
11.9.3	按电压损失校验截面	697

第一章 短波通信系统概述

1.1 短波通信的特点

短波通信主要使用国际无线电咨询委员会 (CCIR) 划分的九个无线电通信频段中的第 7 频段—高频频段 (包括 $3 \sim 30 \text{ MHz}$), 因此, 短波通信又常称为高频通信。实际上, 为了充分利用近距离地波传播的优点, 短波通信还占用了第 6 频段 (中频) 高端的一部分频段, 故短波通信实际使用的频率范围为 $1.6 \sim 30 \text{ MHz}$ 。

短波通信可以利用地波, 但主要是利用天波。

无线电波沿地球表面传播的部分称为地波 (或地表波)。短波地波受地面吸收而衰减的程度, 比长波和中波大, 而且受地面电气特性的影响也较大, 故短波地波只适用于近距离通信。地波衰减随工作频率递增, 在同样的地面条件下, 频率越高, 衰减越大; 利用地波进行通信时, 工作频率一般选在 5 MHz 以下。地波传播受天气影响较小, 比较稳定, 信道参数基本上不随时间而变化, 故地波传播信道可以看作恒参信道。

无线电波射向天空又折回地面的部分称为天波。倾斜投射的天波经电离层反射后, 可以传播到几千公里外的地面。天波的传播损耗比地波小得多。由电离层反射回的电波本来传播就要远些, 尤其是在地面和电离层之间多次反射 (多跳传播) 之后, 可以达到极远的地方。因此, 利用天波可以进行环球通信。天波传播受电离层变化和多径传输的严重影响而极不稳定, 其信道参数随时间而急剧变化, 因此常称为时变信道或参变信道。尽管天波传播不稳定, 但由于可以实现远距离通信, 因此仍然远比地波重要。天波不仅可用于远距离通信, 而且还可以用于近距离通信。在地形复杂、短波地波或视距微波受阻挡而无法到达的地区, 利用高仰角投射的天波可以实现通信。

1.1.1 短波通信的主要优缺点

主要优点:

1. 短波通信不需要接力站进行中继, 即可建立长距离通信链路, 因此建设费用省、维护费用低、建设周期短。中等距离或近距离通信用的中、小型设备, 安装便利; 车载式设备可以在运输到达后立即投入使用。

2. 短波通信设备比较简单, 可以根据业务或使用要求固定设置, 进行定点固定通信; 也可以装入船舰、车辆或飞行器中进行移动通信。小型设备体积小、重量轻, 可以背负或手持使用。短波通信电路调度容易, 临时组网方便、迅速, 具有很大的灵活性。

3. 短波是进行远距离、全方位或区域性广播 (或通播) 业务的良好手段, 因为接收端只需配置短波接收机即可接收广播消息。通信卫星虽然也可供新闻通信业务作远距离广播使用, 但目前的接收设备相对来说则复杂、昂贵得多。

4. 短波通信系统对于自然灾害或战争的抗毁性能较强。通信设备体积小、容易隐蔽, 便

于改变工作频率以躲避敌人干扰和窃听,破坏后容易恢复。这些特点是通信卫星、地面微波、同轴电缆、光纤电缆等通信手段无法相比的。

主要缺点:

1. 可供短波通信使用的频段,如按 $1.6 \sim 30 \text{ MHz}$ 计算,宽度只有 28.4 MHz 。这样窄的频段除供各种通信业务使用外,还有一部分分配给其它用途。短波电台数量很多,短波频段,特别是 10 MHz 以下部分的频率占用情况十分拥挤。虽然,在频率指配方面已经考虑了频率再用,但由于天波传播范围很广,这对于解决频率拥挤问题,没有显著效果。短波频段通信容量小,电台之间干扰问题突出,这就大大限制了短波通信的发展。

2. 短波天波信道是变参信道,信号传输情况很不稳定。电离层的变化使信号产生衰落,衰落的幅度和频次也在连续不断地变化。天波信道还经常出现多径传输,使信号出现频率选择性衰落和多径延迟。此外,在天波和地波都能到达的地方,天波和地波之间的干涉也能使信号衰落。选择性衰落使接收信号失真。多径时延则使接收信号在时间上扩散,成为短波链路传输数据能力的主要限制因素。

当出现电离层突然骚扰和电离层暴等骚乱现象时,通信情况往往会急剧变坏,甚至完全中断。

3. 大气无线电噪声和人为无线电噪声,在无线电频谱的低端,强度很高;随着频率的升高,强度逐渐降低。在短波频段,这类噪声虽然比在长波和中波频段要低得多,但仍有相当高的强度,影响着短波信号的接收。尤其是脉冲型突发噪声,经常会使数据传输出现突发差错,严重影响接收质量。

1.1.2 短波通信的现状

短波通信的主要竞争对手是卫星通信。卫星通信系统能够提供持久可靠的高质量长距离通信链路,信道容量大,数据率高。面对卫星通信的这些优点,短波通信自然要逊色得多。自60年代中期,第一颗国际通信卫星正式投入使用以后,短波长距离通信链路即开始逐步被卫星链路取代,至70年代后期,几乎被取代殆尽。一时之间,短波无线电作为一种有效的通信手段似乎成了问题,甚至有人怀疑到短波通信存在的价值。

然而,人们对于卫星通信,在经过较长时间的实践以后,开始有了比较清醒的认识:首先,卫星一经送入轨道目前尚难以进行维修;在战争时期,卫星很容易遭受攻击;至于卫星信道,则和短波信道一样不易抵御敌方的电磁干扰。其次,在传输方面,当电波穿过电离层和对流层时,由于受到电离层和对流层不均匀性的影响,其幅度、相位和入射角都会产生快速变化(卫星闪烁),特别是在低纬度区变化更为剧烈。再则,卫星通信系统费用昂贵,许多国家没有发射通信卫星的能力,而使用别的国家所控制的卫星,这是难以接受的。基于这些认识,卫星通信系统已不再被认为是安全可靠、完美无缺的通信手段。

十几年来,短波通信虽然受到冷遇,但是研究、改进工作并没有停顿,相反,却取得了很大的进展。随着电离层信道特性的深入探索、大规模集成电路和微处理机等新器件的应用,以及自适应等新技术的开发,新一代短波通信设备已经涌现出来。短波通信链路尽管其信道容量小和数据率低的缺点没有改变,但链路质量大大提高,无论电话传输或数据传输都可以与卫星链路相比。短波通信链路的质量提高,结合它的固有优点—设备简单、成本低、安装方便、使用灵活、抗毁性强、保密性好等,首先受到军事通信方面的重视。70年代末,许多